

Process and apparatus for disposing of fluorocarbons and other fluorine-containing compounds

Publication number: DE4319118

Publication date: 1994-12-15

Inventor: BREITBARTH FRIEDRICH-WILHELM D (DE); TILLER HANS-JUERGEN PROF DR (DE); MAGNUS BRIGITTE (DE); DUMKE KARIN (DE); LENKE DIETMAR (DE)

Applicant: BREITBARTH FRIEDRICH WILHELM D (DE); TILLER HANS JUERGEN (DE)

Classification:

- International: A62D3/19; B01D53/32; B01D53/70; B01D53/86; B01J19/08; C23C16/44; H05H1/46; A62D101/22; A62D101/49; A62D3/00; B01D53/32; B01D53/70; B01D53/86; B01J19/08; C23C16/44; H05H1/46; (IPC1-7): A62D3/00; B01D53/34; B01J19/08; C23C16/50; H05H1/46

- European: A62D3/19; B01D53/32; B01D53/70; B01D53/86L2; B01J19/08D2; C23C16/44H; H05H1/46

Application number: DE19934319118 19930609

Priority number(s): DE19934319118 19930609

[Report a data error here](#)

Abstract of DE4319118

Process and apparatus for disposing of fluorocarbon-containing and fluorine-containing compounds by conversion of these compounds in a plasma-chemical process in which the said compounds are converted in the plasma with a solid with addition of e.g. oxygen, steam or hydrogen. The solid can be for example SiO₂ which may also be reacted as a wall of the reaction chamber. An additional coating with catalytically active substances and with alkali metal compounds or alkaline earth metal compounds enables an acceleration of reaction and formation of fluorides acceptable for landfill. The apparatus used is plasma reactor which contains the solid and can be operated with a high frequency, low frequency, direct current or microwave discharge.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 43 19 118 A 1**

⑤ Int. Cl.⁸:
A 62 D 3/00
C 23 C 16/50
B 01 D 53/34
B 01 J 19/08
H 05 H 1/48

⑲ Aktenzeichen: P 43 19 118.5
⑳ Anmeldetag: 9. 6. 93
㉓ Offenlegungstag: 15. 12. 94

DE 43 19 118 A 1

⑦1 Anmelder:

Breitbarth, Friedrich-Wilhelm, Dr., 07743 Jena, DE;
Tiller, Hans-Jürgen, Prof. Dr., 07745 Jena, DE

⑦2 Erfinder:

Breitbarth, Friedrich-Wilhelm, Dr., 07743 Jena, DE;
Tiller, Hans-Jürgen, Prof. Dr., 07745 Jena, DE;
Magnus, Brigitte, 07745 Jena, DE; Dumke, Karin,
07613 Rauda, DE; Lenka, Dietmar, 07613 Rauda, DE

⑥4 Verfahren und Vorrichtung zur Entsorgung von Fluorkohlenstoffen und anderen fluorhaltigen Verbindungen

⑤7 Verfahren und Vorrichtung zur Entsorgung von fluorkohlenstoffhaltigen und fluorhaltigen Verbindungen durch einen Umsatz dieser Verbindungen in einem plasmachemischen Prozeß, in dem die genannten Verbindungen im Plasma unter Zugabe von z. B. Sauerstoff, Wasserdampf oder Wasserstoff mit einem Feststoff umgesetzt werden. Der Feststoff kann dabei beispielsweise SiO_2 sein, das sich auch als Wand des Reaktionsraumes zur Reaktion bringen läßt. Eine zusätzliche Belegung mit katalytisch wirkenden Substanzen sowie mit Alkali- oder Erdalkaliverbindungen ermöglicht eine Umsatzbeschleunigung und die Bildung von deponiefähigen Fluoriden. Als Vorrichtung wird ein den Feststoff enthaltender Plasmareaktor eingesetzt, der mit einer Hochfrequenz-, Niederfrequenz-, Gleichspannungs- oder Mikrowellenentladung betrieben werden kann.

DE 43 19 118 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10. 94 408 050/94

9/34

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Entsorgung von fluorkohlenstoffhaltigen und anderen fluorhaltigen Verbindungen, bei denen die Fluorverbindungen mit Feststoffen zur Reaktion gebracht werden. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Entsorgung fluorkohlenstoffhaltiger und anderer fluorhaltiger Verbindungen in einem Reaktor, der einen Zufluß und einen Abfluß aufweist, über die die fluorhaltigen Verbindungen im Durchfluß durch den Reaktor führbar sind, wobei der Reaktor mittels einer Temperiereinrichtung beheizbar ist.

Fluorhaltige Verbindungen werden eingesetzt bzw. entstehen in der Mikrostrukturierungstechnik, der Schichtabscheidung von insbesondere glimpolymerartigen Schichten durch Vakuumprozesse, der Oberflächenbearbeitung von Kunststoffen, der pyrolytischen Behandlung bzw. Verbrennung von Fluor enthaltenden Kunststoffen sowie der Verarbeitung von fluorkohlenstoffhaltigen Produkten in thermisch gestützten Prozessen. Unter den zu entsorgenden Produkten nehmen ungesättigte Fluorkohlenstoffe und davon insbesondere das Perfluorisobuten mit einer extrem hohen Toxizität eine besondere Stellung ein. Gesättigte Fluorkohlenstoffe sind dagegen nur von geringer Toxizität, können sich jedoch bei Temperaturen oberhalb 500°C unter bestimmten Bedingungen auch in die genannten toxischen Verbindungen umsetzen.

In der Literatur (GME workshop Frankfurt/Main 17./18. 11. 90, contr. papers, Vakuum in der Praxis (1992) Nr. 1, S. 43—54) sind die Entsorgung der genannten Verbindungen, insbesondere aber anorganischer Fluorverbindungen durch Absorptionsfilter auf der Basis modifizierter Aktivkohlen, sowie Vielkomponentenabsorbern beschrieben. Diese Verfahren besitzen den Nachteil, daß die genannten Produkte aus dem Abgasstrom entfernt, das Entsorgungsproblem jedoch verlagert wird. Desweiteren wird die Kopplung der Adsorption mit einer reaktiven Vernichtung an der Feststoffoberfläche schwerpunktmäßig für die nichtkohlenstoffhaltigen Fluorverbindungen beschrieben (siehe Lit. GME workshop). Die reaktive Umsetzung von Fluorkohlenstoffen an SiO_2 ist weiterhin in der DE-PS 34 23 233 beschrieben.

Ein weiteres Verfahren, wie es der DD-PS 2 00 980/6 zu entnehmen ist, geht von einer Umsetzung insbesondere der fluorkohlenstoffhaltigen Verbindungen in einer Mischung von Alkohol und Kalilauge aus, wobei technisch eine Einleitung der Abgase in einen Sprühwäscher erfolgt.

Die letztgenannten Verfahren beseitigen den Nachteil einer zusätzlichen Nachentsorgung, arbeiten aber ausschließlich im Normaldruckbereich, der für Anwendungen in der Vakuumtechnologie nachteilig ist, da die Abgase zunächst die Vakuumpumpen passieren müssen und sich insbesondere die fluorkohlenstoffhaltigen Produkte leicht in den eingesetzten Pumpenölen lösen und diese so kontaminieren. Dabei kann die Konzentration toxischer Produkte im Pumpenöl Werte erreichen, die einen hohen Sicherheitsaufwand im Umgang und in der Entsorgung derartig kontaminierter Pumpen erfordern.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, die die beschriebenen Mängel im technischen Stand beseitigen. Diese Aufgabe wird in einem Verfahren der eingangs beschriebenen Art dadurch gelöst, daß mit Hilfe eines plasmachemischen Prozesses in Wechselwirkung mit ei-

nem Feststoff flüchtige und hydrolysierbare Produkte gebildet werden, wobei im Vakuumteil der die genannten Produkte bildenden oder verwendenden Anlagen bereits eine Umwandlung in leicht entsorgbare und nicht im Pumpenöl akkumulierbare Produkte erfolgt. Das Verfahren ist der Zielstellung der Erfindung entsprechend mit einer Vorrichtung zu verbinden, die die gestellte Aufgabe eines möglichst vollständigen Umsatzes löst und zudem ein kostengünstigen Zusatzbaustein für eine technologische Anlage darstellt. Darüberhinaus soll die Vorrichtung als separate Anlage zur Entsorgung beispielsweise von in Adsorptionsfiltern akkumulierten Materials einsetzbar sein.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die fluorkohlenstoffhaltigen bzw. fluorhaltigen Verbindungen, die chemisch außerordentlich stabil sein können, mit einem Metall, einem Metalloxid oder einer anderen Metallverbindung, die sich in einem festen Zustand befindet, mit Hilfe eines Plasmaprozesses umgesetzt werden. Da derartige Reaktionen im allgemeinen eine hohe Aktivierungsenergie erfordern, wird das Plasma zur Reaktionsaktivierung eingesetzt. Hierbei wird die thermodynamische Stabilität von einigen Fluoriden gegenüber Fluorkohlenstoffen ausgenutzt. Die gebildeten Fluoride müssen flüchtig sein, um eine ständige Erneuerung der Feststoffoberfläche zu gewährleisten. Die für die Entsorgung ausgenutzte Oberflächenreaktion wird durch den Einfluß der Ionen des Plasmas auf die Oberfläche offensichtlich gefördert.

Unter den möglichen Metallen bzw. Metallverbindungen hat sich SiO_2 und Si als Feststoff in besonderer Weise bewährt. SiO_2 läßt sich als Glas besonders kostengünstig als Reaktionspartner einsetzen und in der jeweils optimalen geometrischen Form gestalten. Ebenso ist es als Füllstoff in einer breiten Palette von Füllkörpern anwendbar.

Eine Reaktionsbeschleunigung konnte auch durch Aufbringen von Oxidationskatalysatoren, wie sie für andere Oxidationsreaktionen beschrieben sind, erreicht werden. Dabei darf der Katalysator die Reaktionsfläche nur teilweise und in möglichst hochdisperser Form bedecken.

Als Reaktionsprodukte der plasmachemischen Umsetzung von beispielsweise SiO_2 mit O_2 und ungesättigten Fluorkohlenstoffen entsteht als Hauptprodukt SiF_4 . Dieses kann leicht nach Verlassen des Vakuumbereiches in einem üblichen Wäscher hydrolysiert und beispielsweise mit Ca(OH)_2 zu CaF_2 umgesetzt werden. Durch Einbringen von Alkali- bzw. Erdalkalihydroxiden oder auch Oxiden — wenn das Reaktionsgas Wasserdampf als Zumischung enthält — ist erfindungsgemäß bereits ein Umsatz der Fluorverbindungen im Reaktionsraum zu untoxischen und deponiefähigen Fluoriden möglich.

Die zur Entsorgung der fluorhaltigen Produkte verwendeten Oberflächenreaktionen lassen sich durch eine zusätzliche Erwärmung der Feststoffoberfläche weiter beschleunigen und so der Umsatz erhöhen. Als günstiger Temperaturbereich hat sich ein Intervall zwischen 50° und 800°C erwiesen, wobei sich bereits im Temperaturintervall zwischen 70° und 150°C sehr gute Umsätze erzielen lassen.

Die aus der Mikrostrukturierung von SiO_2 bzw. Si durch gesättigte Fluorkohlenstoffe an sich bekannte Reaktion zwischen beiden Partnern unter Bildung von SiF_4 führt bei Einsatz ungesättigter Fluorkohlenstoffverbindungen, deren Beseitigung die eigentliche erfindungsgemäße Aufgabe darstellt, zur Ablagerung von Schichten

auf der Feststoffoberfläche und damit zum Abbruch der Reaktion.

Das Problem wird erfindungsgemäß durch einen Zusatz von O_2 zum Reaktionsgas gelöst. Dessen Menge wird so bemessen, daß der im Reaktionsgas vorhandene Kohlenstoff zu CO_2 umgesetzt werden kann.

Optimalerweise wird deshalb mit einer auf den Kohlenstoff bezogenen überstöchiometrischen Menge an O_2 gearbeitet. Es hat sich weiterhin herausgestellt, daß ein Zusatz von Wasserstoff die Reaktion durch die Bildung von Fluorwasserstoff begünstigt. Jedoch macht sich auch hier der Zusatz von Sauerstoff erforderlich. Als eine weitere günstige Reaktionsvariante hat sich der Einsatz von Wasserdampf, der beide Elemente enthält erwiesen. Eine zusätzliche Beimischung von Sauerstoff ergab eine erhöhte Reaktivität der SiO_2 - bzw. Glasoberflächen mit den Fluorkohlenstoffen.

Es konnte erfindungsgemäß gezeigt werden, daß auch andere Fluorverbindungen, wie beispielsweise das ebenfalls toxische NF_3 sich mit dem beschriebenen Verfahren effektiv umsetzen lassen.

Die erfindungsgemäße plasmachemische Umsetzung der zu entsorgenden fluorhaltigen Verbindungen durch einen plasmachemischen Prozeß in Wechselwirkung mit einer Feststoffoberfläche läßt sich bevorzugt verfahrensmäßig im Niederdruckbereich durchführen, wobei die zu entsorgenden Gase und die ihnen zugefügten Zumischungen durch das Plasma geleitet werden.

Ein solches Niederdruckplasma läßt sich vorteilhaft im Druckbereich zwischen 0,01 und 50 mbar betreiben.

Der Plasmazustand läßt sich durch Anlegen eines elektrischen Wechselfeldes, aber auch durch eine Gleichspannung, die an das Gas angelegt wird, erzeugen.

Das Verfahren wird durch eine Vorrichtung zur Wirkung gebracht, die aus einem temperierbaren Reaktor mit einem Zufluß und einem Abfluß besteht und in dem erfindungsgemäß ein Plasma betrieben wird. Dieses wird durch mindestens zwei Elektroden oder als solche dienende Reaktorteile aufrechterhalten, wobei die zu entsorgenden fluorhaltigen Verbindungen und die Zumischungen das Plasma durchströmen.

Zur Aufrechterhaltung des Niederdruckplasmazustandes ist mindestens eine Vakuumpumpe nötig. Wird jedoch das Abgas eines Vakuumprozesses in den Reaktor geleitet und werden weitere Gase zugemischt, so ist eine Vorrichtung zweckmäßig, die zwischen zwei Vakuumpumpen betrieben wird. Dadurch läßt sich der Reaktionsraum vakuumtechnisch von der die Abgase liefernden Anlage trennen, ohne daß eine gegenseitige schädliche Beeinflussung stattfindet. Über die Druckdifferenz und die Saugleistung der Pumpen läßt sich der Umsatz und die optimalen Reaktionsbedingungen steuern.

Erfindungsgemäß ist der Reaktor so konstruiert, daß eine intensive Wechselwirkung zwischen Plasma und einem Feststoff stattfinden kann.

Der Feststoff kann dabei sowohl das Reaktorwandmaterial darstellen, als auch in Form von Füllstoffen im Reaktor vorliegen. Für den letztgenannten Fall besteht die Voraussetzung darin, daß der Füllstoff so angeordnet ist, daß das Plasma zwischen den Füllstoffoberflächen brennen kann.

Wird das Wandmaterial als reagierender Feststoff verwendet, so läßt sich der Reaktor erfindungsgemäß als ein Plasmarohr, dessen Länge wesentlich größer als der Durchmesser ist, konstruieren, wobei man die notwendige Reaktionszeit des Gases durch eine notwendige Rohrlänge garantiert. Diese richtet sich nach dem

Gasdurchsatz und dem Druck sowie der eingespeisten elektrischen Leistung. Die Länge des Reaktors kann so bei einigen Metern liegen, die sich in Form von spiralförmigen oder auch mäanderförmigen Rohr-Reaktoren realisieren lassen.

Niederdruckplasmen lassen sich bekanntermaßen in unterschiedlichster Form anregen. Diese verschiedenen Formen, wie Hochfrequenzanregung mit außerhalb des Reaktors angebrachten Elektroden oder Innenelektroden, Niederfrequenzplasma mit Innenelektroden im Reaktor oder Glimmentladung durch Gleichspannungsanregung mit Innenelektroden lassen sich für die erfindungsgemäße Vorrichtung einsetzen.

Eine besonders wirksame erfindungsgemäße Anordnung besteht darin, daß eine Hochfrequenzentladung mit zylinderförmigen Innenelektroden, die den überwiegenden Teil des Reaktionsvolumens einschließen, eingesetzt wird, wobei die Innenelektroden mit einem reaktiven Feststoff beschichtet sind. Bei Verwendung von Glas als Feststoff ist auch der Einschub eines an die Elektrode innen eng anliegenden Rohres möglich.

Zur Aufrechterhaltung des Plasmas in derartig langen Rohren ist neben dem Einsatz von mehreren Innenelektroden auch der Einsatz von Außenelektroden möglich, die eine Hochfrequenzentladung dadurch zünden, daß die Elektroden plattenförmig das Reaktionsgefäß umschließen. So läßt sich ein Mäander durch zwei parallele Platten optimal begrenzen, im Falle einer Spirale wird eine Elektrode als Innenzylinder, die andere als Außenzylinder eingesetzt.

Die Innenelektroden lassen sich auch in Form planparalleler Platten ausbilden. Eine intensive Wechselwirkung des Plasmas mit dem Feststoff läßt sich durch eine Beschichtung der Elektroden mit demselben erreichen.

Ausführungsbeispiele

Weitere Einzelheiten und Merkmale ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung anhand der Zeichnungen.

1. Beispiel

Der auf Fig. 1 dargestellte Reaktor besteht aus einem Glasrohr 1 mit einer Länge von 60 cm und einem Innendurchmesser von 3,7 cm. Es ist von zwei halbschaligen Elektroden 2 umschlossen, an die eine Hochfrequenz von 2 MHz angelegt wird. Die Leistungsdichte beträgt $0,5 \text{ W cm}^{-2}$. Fig. 2 zeigt den gleichen Reaktor in einer Querschnittszeichnung. Das Glasrohr 1 ist von den beiden halbschaligen Elektroden 2 eng umschlossen.

In den Reaktor wird eine Mischung bestehend aus 35 Vol% C_3F_8 und 65 Vol% O_2 eingefüllt. Der Gesamtdruck beträgt 1 mbar. Nach Zünden des Plasmas wird der Umsatz des Fluorkohlenstoffes verfolgt. Er beträgt nach 5 s über 99%, ohne daß andere Aufbauprodukte außer SiF_4 und CO_2 entstehen.

Beispiel 2

In einem CF_4/CH_4 Plasma wird eine plasmachemische Umsetzung durchgeführt, die zu dem in Fig. 3a dargestellten Gaschromatogramm und den in diesem identifizierten Produkten, die auch in erheblichen Mengen Perfluorisobuten enthalten, führt. Dieses Gemisch wird durch den in Fig. 4 in der Draufsicht dargestellten Plasmareaktor unter Zumischung von 100 Vol% O_2 geleitet. Der Reaktor besteht aus einem spiralförmig ge-

stalteten Glasrohr 1 mit einer Länge von 8 m und einem Innendurchmesser von 1 cm. Die Elektroden sind, wie der Querschnitt des Reaktors zeigt, als eine innere 2 und äußere 3 Halbschale ausgebildet. Der Reaktor enthält den Zufluß 4 und den Abfluß 5. Fig. 5 zeigt den gleichen Reaktor in der Seitenansicht. Sie macht die spiralförmige Gestaltung des Glasrohres 1 deutlich. Das Plasma wird mit einer Hochfrequenz von 2 MHz und einer Leistungsdichte von $0,1 \text{ Wcm}^{-3}$ betrieben. Dem Abproduktgemisch wird ein O_2 Volumenanteil von 1 : 1 bezogen auf das Abgas zugemischt. Die Strömungsgeschwindigkeit der Gasmischung bei einem Gesamtdruck von 100 Pa beträgt 24 ms^{-1} , der Gasdurchsatz 11 sccm. Das nach Durchströmen des Reaktors gaschromatografisch analysierte Abgas enthält keine nachweisbaren Fluorkohlenstoffe mehr (Bild 3b). IR-spektroskopische Analysen weisen SiF_4 als Reaktionsprodukt aus. Dieses läßt sich bereits in einem wäßrigen Medium mit Löschkalkzusatz leicht zu CaF_2 umsetzen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Entsorgung von Fluorkohlenstoffen und anderen fluorhaltigen Verbindungen, bei denen diese mit Feststoffen zur Reaktion gebracht werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Aktivierung dieser Reaktion mit Hilfe eines plasmachemischen Prozesses erfolgt, wobei in Wechselwirkung mit den Feststoffen flüchtige und hydrolysierbare Fluorprodukte gebildet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Feststoff SiO_2 oder/und Si eingesetzt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche des Feststoffes mit einem Katalysator dotiert wird.
4. Verfahren nach Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche des Feststoffes mit einem Alkali- oder Erdalkalioxid bzw. -hydroxid dotiert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Alkalielemente Na oder/und K verwendet werden.
6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Erdalkalielelemente Ca oder/und Ba eingesetzt werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche des Feststoffes auf einer Temperatur zwischen 50°C und 800°C , bevorzugt zwischen 70°C und 150°C gehalten wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der fluorhaltigen Verbindung O_2 zugemischt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der fluorhaltigen Verbindung H_2 zugemischt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der fluorhaltigen Verbindung H_2O zugemischt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die zugemischten Gase jeweils in einem überstöchiometrischen Verhältnis, bezogen auf den in der fluorhaltigen Verbindung enthaltenen Kohlenstoff und das Fluor zugemischt werden.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die fluorhaltigen Ver-

- bindungen und ihr zugesetzten Gase durch ein Plasma im Niederdruckbereich geleitet werden.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasma bei Drücken zwischen 0,01 und 50 mbar betrieben wird.
 14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasma in einem elektrischen Wechselfeld angeregt wird.
 15. Verfahren nach Anspruch 12 und 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasma mittels Mikrowelle angeregt wird.
 16. Vorrichtung zur Entsorgung fluorkohlenstoffhaltiger und anderer fluorhaltiger Verbindungen in einem Reaktor, der einen Zufluß und einen Abfluß aufweist, über die die fluorhaltigen Verbindungen durch den Reaktor führbar sind, wobei der Reaktor mittels einer Temperiereinrichtung heizbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Reaktor ein Plasma aufrechterhalten wird, daß zwischen mindestens zwei Elektroden oder als solche dienende Reaktorteilen aufrechterhalten wird, wobei die fluorhaltigen Verbindungen das Plasma durchströmen.
 17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß sich im Zufluß und im Abfluß des Reaktors jeweils eine Vakuumpumpe befindet.
 18. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Zufluß und Abfluß eine Druckdifferenz aufrechterhalten wird.
 19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß ein mit dem Plasma in Wechselwirkung tretender Feststoff in den Reaktor eingebracht wird.
 20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Feststoff das plasmabegrenzende Wandmaterial darstellt.
 21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Reaktor als Rohr ausgebildet ist, wobei die Länge des Rohres wesentlich größer als der Innendurchmesser ist.
 22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß das Reaktorgefäß spiral- oder mäanderförmig ausgebildet ist.
 23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Plasma-Reaktor von mindestens zwei Elektroden teilweise eingeschlossen ist.
 24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine der Elektroden eine im Plasmareaktor angeordnete Elektrode ist.
 25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine der Elektroden als Hohlkathode den Plasmaraum teilweise einschließt.
 26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Elektroden als Innenelektroden in Form von planparallelen Platten das Plasma begrenzen.
 27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 und 25, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine der Elektroden mit einem Feststoff, der mit dem Plasma in Wechselwirkung tritt, belegt ist.
 28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß in den Plasmareaktor eine Mikrowellenantenne eingeführt ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

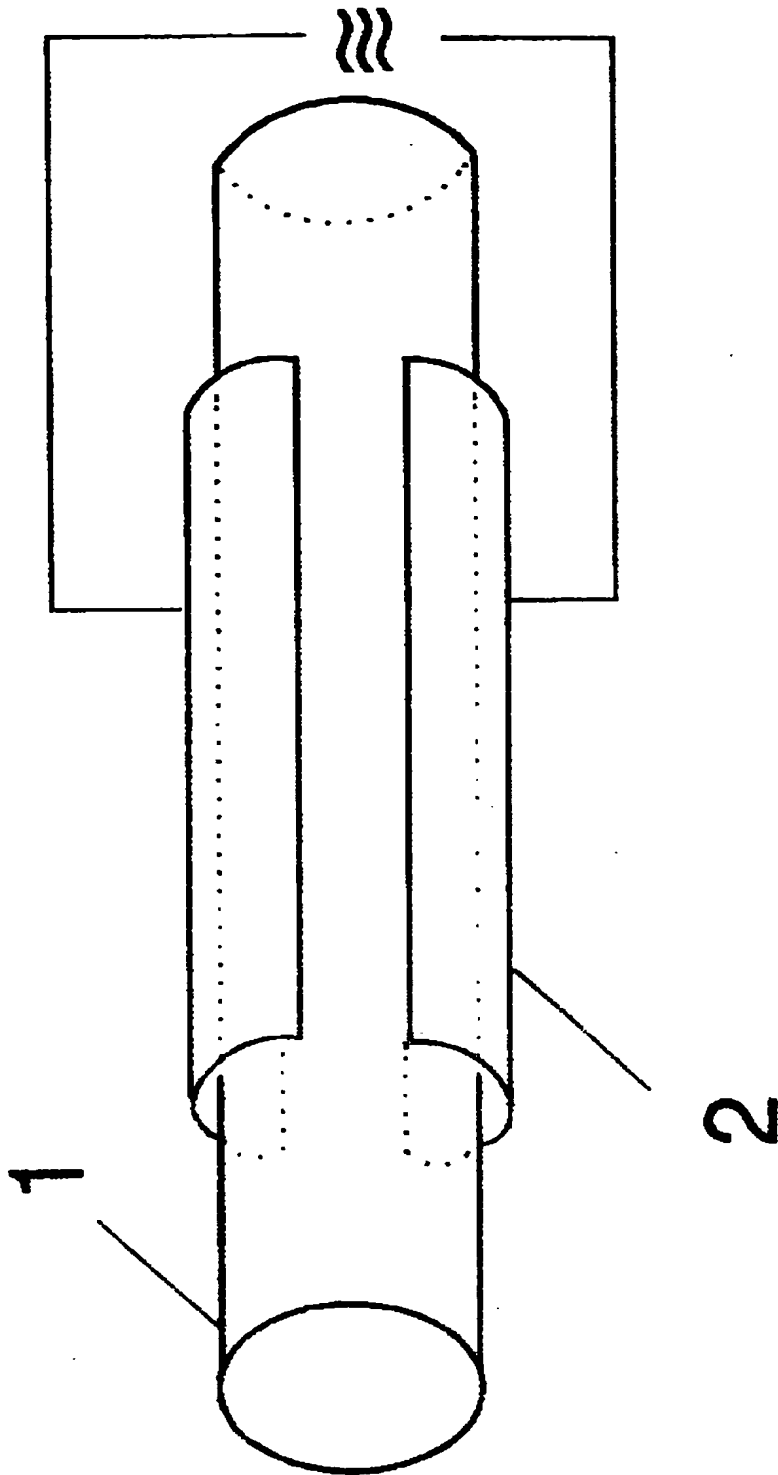


Fig. 1

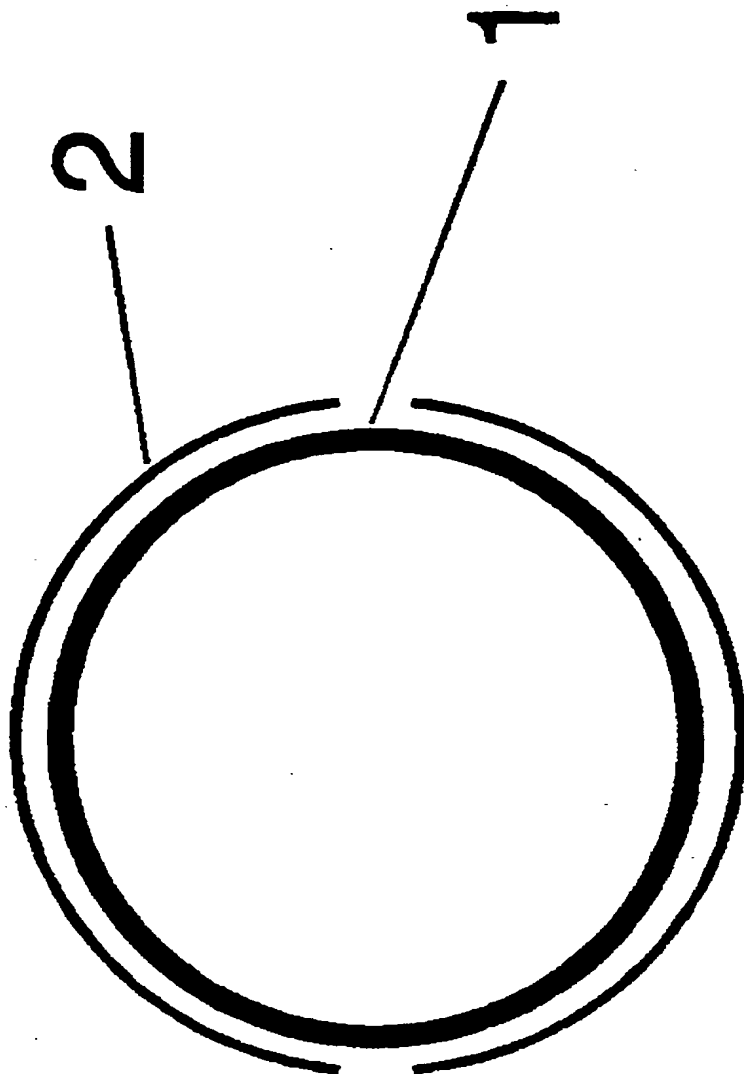
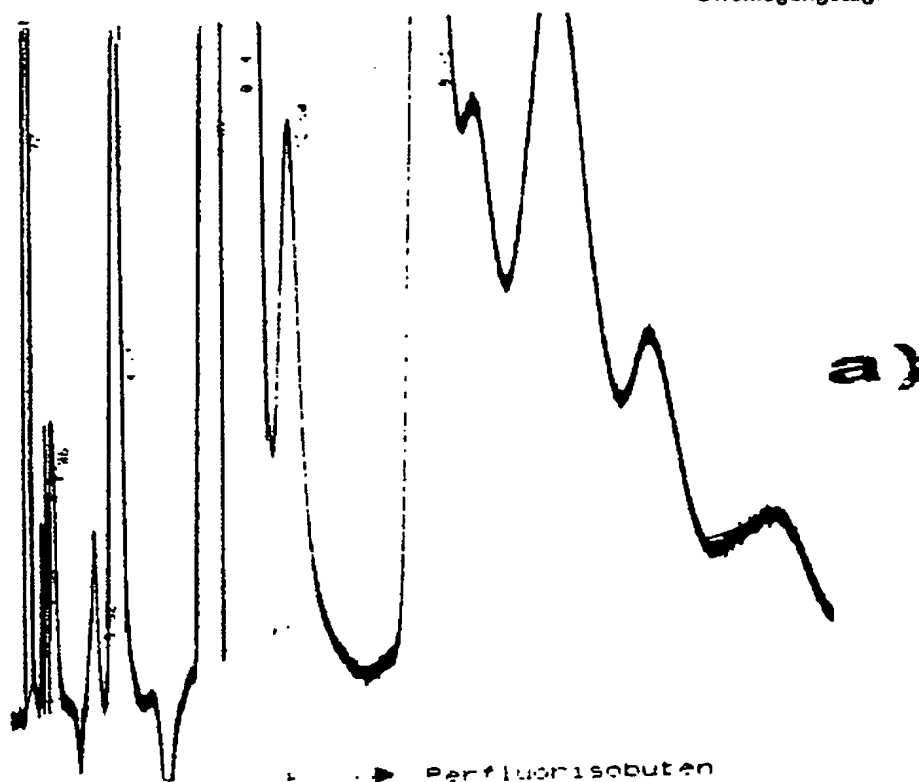


Fig. 2



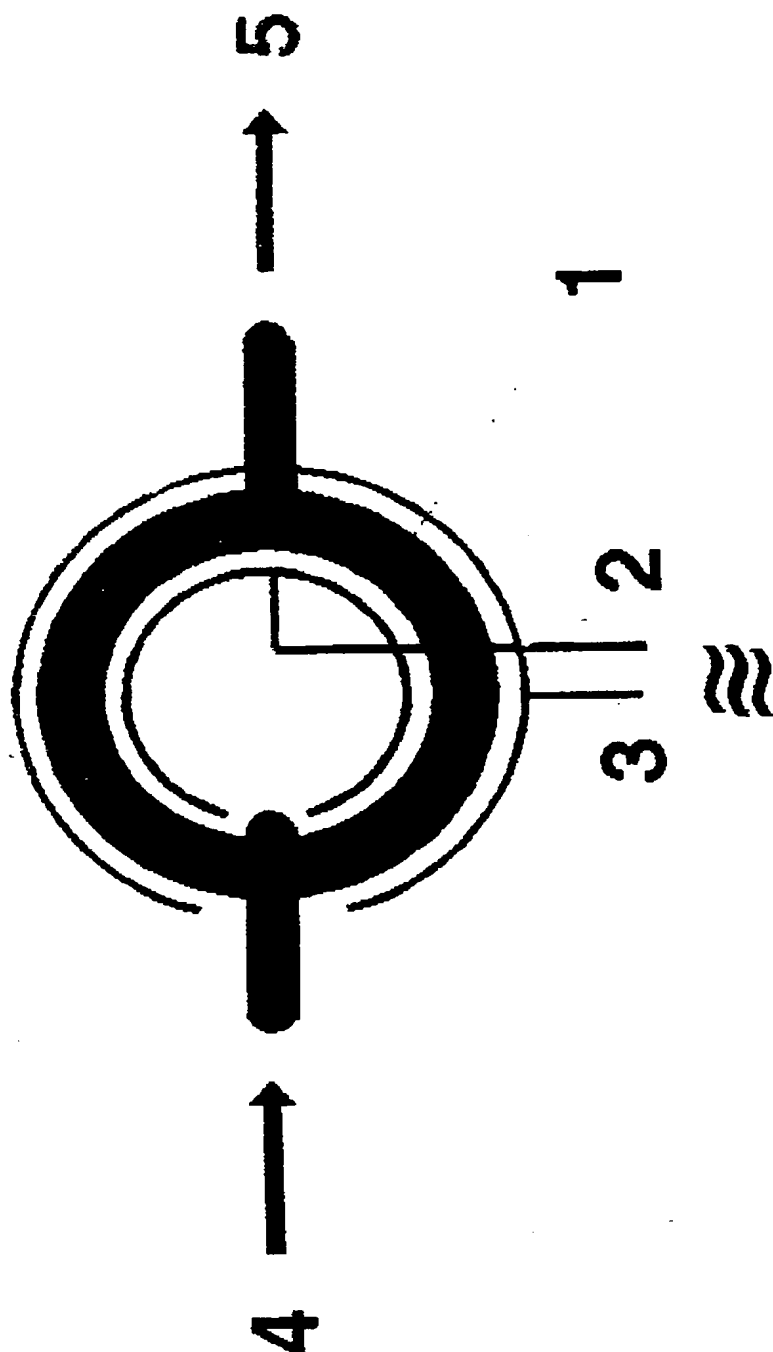


Fig. 4

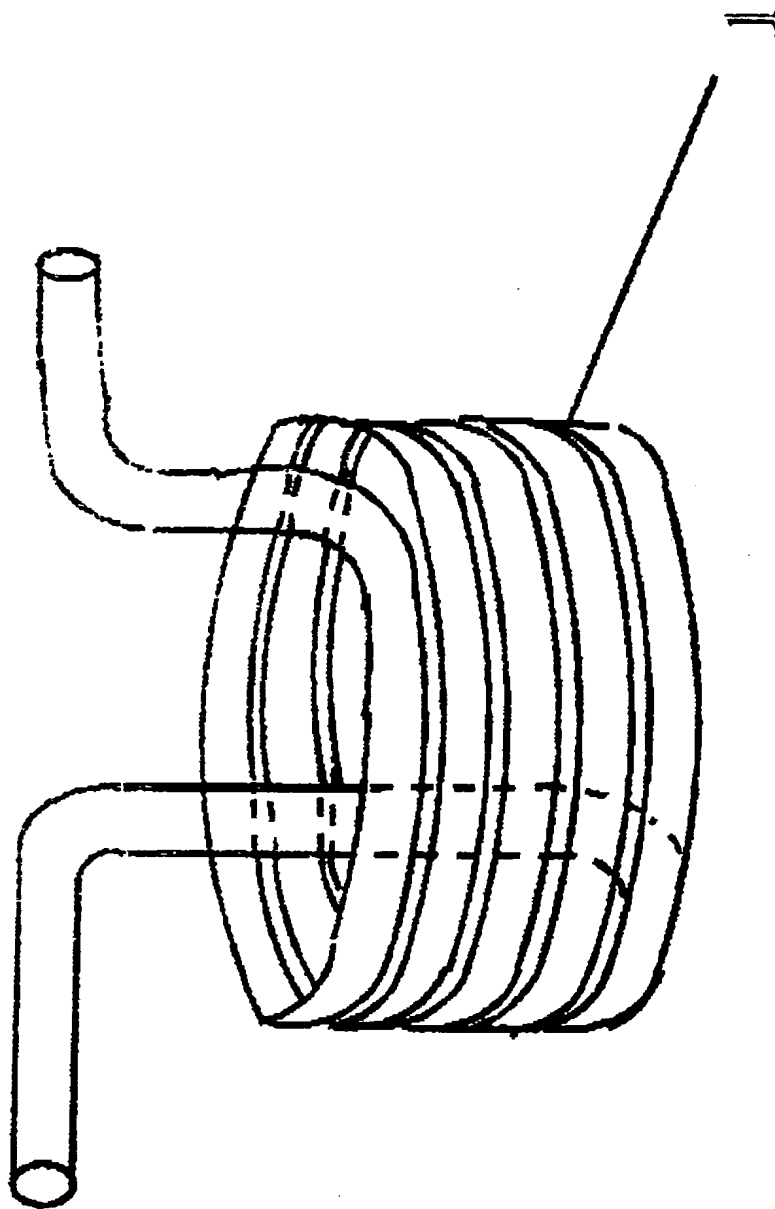


Fig. 5